

POLSKIE BADANIA NURKOWAŃ SATUROWANYCH I ICH WDROŻENIE. CZĘŚĆ III B. PROBLEMY TECHNICZNE I ORGANIZACYJNE WDROŻENIA SATUROWANYCH NURKOWAŃ W POLSCE OD LAT 90-TYCH UBIEGŁEGO WIEKU. CZĘŚĆ 2

Stanisław Skrzyński

Katedra Technologii Prac Podwodnych, Akademii Marynarki Wojennej

STRESZCZENIE

Artykuł jest kolejnym z cyklu artykułów dotyczących badań i wdrażania technologii nurkowań saturovani w naszym kraju. W poniższym artykule przedstawiono polską specyfikę wdrażania na tle uwarunkowań gospodarczych i historycznych. W naszym kraju problematyką nurkowań saturovani dla potrzeb rodzącego się na morzu przemysłu wydobywczego od kilkunastu lat zajmuje się ZSNI TPP. Równolegle przygotowywane są technologie nurkowań głębokich, w pierwszym etapie, jako podstawowa technologia nurkowania, a od roku 1994, jako uzupełnienie pełnego zabezpieczenia nurkowań saturovani. Od 1995 roku nurkowania saturowane stały się codziennością w polskiej strefie ekonomicznej morza bałtyckiego. Artykuł ten pokazuje trudną drogę, jaką przebyło wdrażanie nurkowań saturovani w okresie niestabilności gospodarczej, oraz małej skali zaplecza krajowego morskiego przemysłu wydobywczego w porównaniu z przedsiębiorstwami światowymi. Przypomniano wybranych animatorów i uczestników wdrożenia które podzielić należy na okresy współpracy z włoskim przedsiębiorstwem usług podwodnych RANA oraz realizacji podwodnych prac długotrwałych w oparciu o potencjał krajowy. W artykule uwzględnia się również uwarunkowania techniczne i organizacyjne realizacji nurkowań saturovani dla polskiego przemysłu wydobywczego. W 1990 r. Przedsiębiorstwo Poszukiwań i Eksploatacji Złóż Ropy i Gazu Petrobaltic (aktualnie LOTOS) odegrało jedną z głównych ról we wdrażaniu nurkowań saturovani w naszym kraju. Polskie wdrożenie nurkowań saturovani powiązane jest z jedynym operacyjnym systemem nurkowym produkcji włoskiej Af-2, który pozwolił na badania naukowe związane z zastosowaniem nowych rozwiązań technicznych oraz badania w warunkach eksploatacyjnych, a także na rozwój kadr naukowych i inżynierskich oraz medycznych dla potrzeb polskiego przemysłu offshore. Przedsiębiorstwo to odegrało jedną z głównych ról wdrożenia nurkowań saturovani w naszym kraju Rok 1995 stał się rokiem przełomowym w historii nurkowań saturovani w Polsce, jak i na Morzu Bałtyckim. Dzięki tej technologii rozpoczęto proces instalacji dwóch pierwszych podwodnych głowic eksploatacyjnych na otworach produkcyjnych B3-7 oraz B3-10. Nurkowania saturowane były możliwe dzięki leasingu przez Petrobaltic systemu nurkowego Af-2, a następnie zakupieniu go w 1998 przez Akademię Marynarki Wojennej. System ten po modernizacjach służy do dnia dzisiejszego.

Słowa kluczowe: technologia nurkowań saturovani, tabele dekompresyjne, nurków parametry nurkowania saturovanego, długotrwałe prace podwodne, system nurkowy, stany awaryjne, zabezpieczenie techniczno-organizacyjne nurkowania, medyczne problemy operacyjnych nurkowań saturovani, mobilny system nurkowy, baza nurkowań saturovani, mieszaniny oddechowe.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2023 Vol. 84 Issue 3 pp. 7 – 26

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2023-0013

Strony: 20, rysunki: 5, tabele: 0

page [www of the periodical: www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: przeglądowy

Termin nadesłania: 14.01.2023 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 5.02.2023 r.



WSTĘP

UWARUNKOWANIA REALIZACJI PRAC PODWODNYCH W PP PETROBALTIC

Warunki hydrometeorologiczne prac na polu naftowym charakteryzują się dużą zmiennością pogody, co utrudnia lub wręcz uniemożliwia planowanie prac podwodnych, a co za tym idzie, dokładną datę transportu systemu nurkowego na platformę. Natomiast jeśli system nurkowy zainstalowany jest na statku wg obowiązujących w kraju przepisów, można nurkować do stanu morza 3o. Przepis ten obowiązuje też przy nurkowaniu z platformy. Powoduje to nierytmiczność prac podwodnych. Krótkie nurkowanie głębokie można przerwać z powodu warunków pogodowych. Natomiast rozpoczętego nurkowania saturowanego nie można nagle przerwać, co związane jest z wysokimi kosztami oraz nieokreślonością wykonania zadania, gdyż czas trwania nurkowania saturowanego jest ściśle określony do 23 dni, wyłączając dekompresję dla plateau saturacji 70m.

Pracom podwodnym na rzecz Petrobaltic towarzyszyło szerokie stosowanie urządzeń wspomagania nurkowania. Są to urządzenia TV podwodnej i pojazdy typu ROV. Niestety, żaden ze stosowanych ROV w Petrobaltic nie posiadał manipulatorów dla wykonania prostych operacji koniecznych do obsługi urządzeń instalacji podwodnych np. obrotu zaworu lub zacumowania liny.

Pracownicy Petrobaltic szeroko stosowali TV podwodną do wielu operacji, ustawiając kamerę lub ROV w pożądanym miejscu przy pomocy opuszczanych przewodnic kamery TV. Pozwalało to odstąpić od korzystania z usług nurków dla prac przy złożu jeśli potrzebna była tylko obserwacja. Zastosowanie elastycznych rurociągów wyeliminowało potrzebę stosowania podwodnych prac spawalniczych i przy montażu świec naciągów praca nurków sprowadzała się do przyłączania kołnierzy rur do urządzeń rozdzielczych. Natomiast technologie cięcia podwodnego metali stosowało się do procedur awaryjnych w przypadku, gdy zawiodą inne metody bez udziału nurków. Łączenie rurociągów oparte było o ręczne skręcanie kołnierzy i tam, gdzie było to możliwe stosowało się klucze hydrauliczne. Podanie hydraulicznego klucza lub innych narzędzi wraz z węzami zasilającymi na głębokość 70,5-80m wymaga dodatkowych wind. Niewłaściwa obsługa klucza hydraulicznego przez nurka może być przyczyną urazów nurka, co w przypadku nurkowań głębokich a szczególnie saturowanych, bardzo komplikuje udzielenie pomocy.

W szczególnych przypadkach prace podwodne charakteryzuje duża nieokreśloność zakresu zadań nurka, gdyż dopiero sprawdzenie podwodne określa konkretne szczegóły wykonania operacji. Ma to miejsce np. przy pracach podwodnych związanych z demontażem.

Organizacja prac podwodnych wymaga dużej dyspozycyjności ekipy nurkowej, gdyż prace podwodne są częścią całości prowadzonych prac, i z reguły nurkowie pracują po wykonaniu określonej operacji wiertniczej. Powoduje to, że do prac ekipa przystępuje o każdej porze doby, a praca w nocy nie jest czymś niezwykłym. W organizacji prac nurkowych prowadzonych z pokładu platformy należy uwzględnić to, że zabezpieczenie i kierowanie nurkowaniem odbywa się z wysokości około 20m. od powierzchni wody. W tym przypadku bardzo ważnym problemem jest zapewnienie szybkiego wprowadzenia do akcji nurka ubezpieczającego. Kwalifikacje nurków wykonujących zadania powinny obejmować także dobre przygotowanie techniczne, gdyż niekiedy nurek na miejscu pod wodą sam musi ocenić stan techniczny urządzenia lub zakres pracy. Nurek powinien również posiadać wyobraźnię przestrzenną, by swoim sprzętem przy poruszaniu się na strukturze głowic podwodnych nie zaczepić lub nie zaplątać się pod wodą, oraz być w stanie prawidłowo ocenić właściwe ułożenie przewodów elastycznych, rur itp.

Niezbędną umiejętnością nurków jest obsługa podwodnej kamery TV, gdyż ta umiejętność decyduje o ocenie prawidłowości wykonania operacji podwodnych. Nurkowie i personel obsługi muszą optymalnie przygotować stanowisko pracy nurka, co wiąże się z ustawieniem oświetlenia, doborem właściwych narzędzi, dostosowaniem sprzętu i wyposażenia do pracy, wyborem drogi do miejsca pracy oraz miejsca podania narzędzi. Te operacje są prowadzone równolegle, przy równoczesnym zapewnieniu pobytu nurków na plateau i wyjściu nurka z dzwonu nurkowego. Szczególnie ważnym elementem operacji podwodnych jest stropowanie podwodne, które uwzględnić należy już na etapie projektowania elementów montowanych pod wodą.[7,8]

Granica pomiędzy krótkim nurkowaniem głębokim a nurkowaniem saturowanym jest bardzo trudna do uchwycenia. Tylko czynniki ekonomiczne przemawiają za krótkimi standardowymi nurkowaniami głębokimi. Natomiast nurkowania saturowane mają wszystkie inne zalety poza czynnikiem ekonomicznym.

Ta zasada dotyczy wielkich platform wydobywczych. Petrobaltic posiada platformy o stosunkowo małych gabarytach, na których brak jest miejsca na ustawienie systemów nurkowych typowych gabarytów, przewidzianych dla typowych nurkowych systemów stacjonarnych. Montaż mobilnego systemu nurkowego małych gabarytów wymaga specjalnie przygotowanej jego konfiguracji. Dla większości stosowanych systemów nurkowych niemożliwe jest ich ustawienie na platformach Petrobaltic. Dlatego też większość nurkowań saturowanych i głębokich wykonywane było i jest z pokładu statku serwisowego, zdolnego zabezpieczyć prace systemu nurkowego. Takim statkiem w Petrobaltic był statek „Bazalt”.

Montaż mobilnego systemu nurkowego na statku serwisowym uzależnia prace od pogody. W warunkach panującego sztormu statek chroni się porcie. Zwiększa to radykalnie koszty przeprowadzenia nurkowania saturowanego, poprzez przerwy spowodowane warunkami pogodowymi. Dlatego też bardzo ważnym jest monitorowanie pogody tak, by statek z systemem nurkowym mógł we właściwym momencie uciec do portu, i żeby nie poddawać nurków będących pod ciśnieniem dodatkowym stresem spowodowanym chorobą morską, wibracjami kadłuba czy hałasem. Tych oddziaływań nie doświadczamy na platformach. Do tych oddziaływań dochodzi czynnik trudności w obsłudze, gdyż system nurkowy Af-2 który od 27 lat pracuje w polskim offshore jest systemem na otwartym pokładzie. Jeśli to tego dodamy, że prace podwodne prowadzi się okrągły rok z przewagą prac wykonywanych w warunkach zimowych, które wymagają dodatkowego wyposażenia i ochrony przed zamrażaniem elementów instalacji gazowych i wodnych systemu nurkowego oraz zalodzeniem pokładu i elementów, jasnym jest, iż wymaga to wysoko wykwalifikowanej obsługi, zdolnej do prac w tych warunkach.

Zapewnienie pracy w tych trudnych warunkach odbywa dzięki doświadczeniu konstrukcyjnemu i technicznemu oraz organizacyjnemu ekipy technicznej Katedry Technologii Prac Podwodnych AMW, zdobytemu przy wdrażaniu systemów DGKN-120, i GWK-200. Równie ważnym było przekazanie doświadczenia przez ekipę nurkową firmy RANA, która prowadziła pierwsze nurkowania z systemu nurkowego Af-2 na polskim szelfie. W próbach nowego miejsca montażu na platformie Beta nie obyło się bez błędów, gdzie nie zważając na analizę techniczną i uwagi doświadczonych kierowników nurkowania na siłę starano się zamontować system nurkowy, dopasowując go do wymagań wiertników, a nie do możliwości technicznych Af-2. Rok wcześniej taki montaż odbył się z usunięciem wielu urządzeń pokładowych z ingerencją w strukturę platformy. W związku z czym system nurkowy Af-2 zdemontowano i posadowiono na statku serwisowym w roku następnym, co okazało się bardzo trafną decyzją i na kilkanaście lat było to najczęściej stosowane rozwiązanie dla nurków saturowanych i głębokich, i jest stosowane do chwili obecnej.

WYBÓR SYSTEMU NURKOWEGO DO PRAC PODWODNYCH W PETROBALTIC

W 1994 roku było już wiadomo, że dla instalacji głowic konieczne jest wykorzystanie nurków saturowanych. Jak wspomniano powyżej, w tym czasie Polska nie dysponowała systemem do nurków saturowanych operacyjnych, a próba wykorzystania resztek systemów Stoczni Szczecińskiej została zaniechana po pierwszej technicznej analizie, ze względu na koszty i gabaryty, które nie pozwoliły na zamontowanie tych systemów na platformie wiertniczej.

Od początku 1994 roku pracowano przy pozyskaniu systemu nurkowego dla celów prac na polu naftowym Petrobaltic. Wybór padł na firmę RANA ze względu na praktykę pracy przy instalacji głowic, koszty i posiadanie mobilnego systemu nurkowego, który był eksploatowany przez 18 lat przez tę firmę. Decydujące znaczenie w tych negocjacjach miało obniżenie kosztów usługi podwodnej przez firmę RANA i udział AMW w części prac związanych z zabezpieczeniem nurków saturowanych. Po trudnych negocjacjach, w których implementowano udział ZSNiTPP w tych pracach, wciskaliśmy się w „luki”, których nie mogła zabezpieczyć firma RANA. W 1994 roku po audycie firma włoska RANA podjęła decyzję o współpracy i dla zabezpieczenia prac w Petrobaltic przygotowywała do wysyłki do kraju rezerwowany system nurkowy Af-2, który był na etapie przechowywania i pełnił rolę uzupełnienia dla pracy innych systemów nurkowych tej firmy. System nurkowy wypożyczony był na zasadzie „leasingu”, z możliwością wykupu po zapłaceniu ostatniej raty we wrześniu 1998 roku. Mając na względzie sytuację firmy, mającej duże obciążenie na Morzu Śródziemnym, zgodzono się na wsparcie prac ze strony polskiej; zdecydowano się na współpracę z zespołem Marynarki Wojennej RP. W zespole tym wiodącą rolę pełnił Zakład Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych AMW wystawiając 90% obsługi polskiej wachty i zabezpieczając technicznie i medycznie nurkowania saturowane w 1995 roku, oraz ekipę nurków asekuracyjnych [1].

System nurkowy Af-2 jest systemem nurkowym z lat siedemdziesiątych, budowanym na zasadach przepisów włoskich, bardzo różnych od przepisów krajów Morza Północnego, uważanych w tym czasie za standard. Dla polskiej ekipy, która budowała i wykonała próby zdawcze stacjonarnego systemu GWK-200 taceczne rozwiązania konstrukcyjne były trudnym do akceptacji „szkiem technicznym”. System Af-2 był „składakiem” komory hiperbarycznej i dzwonu nurkowego firmy włoskiej Drass, do których dobudowano inne elementy konieczne do realizacji nurków saturowanych. W odróżnieniu od systemu stacjonarnego GWK-200, budowanego w oparciu o wymagania norweskiego towarzystwa klasyfikacyjnego DNV, które niosły za sobą wydatki i określony stopień nadmiarowości funkcjonalnej i strukturalnej z punktu widzenia bezpieczeństwa, system Af-2 budowany był w oparciu o wymagania towarzystwa włoskiego RINA. Tam wymagania były bardziej „elastyczne” w kwestii wyposażenia, instalacji oraz bazy pomiarowej. Systemy te różniły się praktycznie wszystkim, począwszy od gabarytów, bazy pomiarowej aż po wyposażenie awaryjne. Dzięki minimalnym gabarytom i minimalnemu wyposażeniu podstawowych elementów systemu nurkowego zabezpieczającego nurkowania saturowane Af-2 można było wykorzystać praktycznie na każdej jednostce posiadającej 150m² pokładu. Najważniejszą zaletą tego systemu było i jest to, że mógł być zainstalowany na ówczesnych platformach Petrobaltic. System nurkowy Af-2 urzekł swoją prostotą rozwiązań technicznych i obsługi. Jak mówili włosi, system był budowany przez nurków i dla nurków. Był zbudowany jak najmniejszymi nakładami finansowymi i przy zachowaniu technicznych wymagań bezpieczeństwa. System nie odpowiadał w pełni wymaganiom przepisów budowy krajów przodujących w dziedzinie nurkowania, takich jak Norwegia, Wielka Brytania, Francja a nawet Rosja. Af-2 nie posiadał automatyki utrzymywania parametrów, instalacji podtrzymania życia, a jego instalacja gazowa była bardzo uproszczona. Było to jednak jego zaletą w kwestii obsługowej i napraw.

System nurkowy Af-2 posiadał aktualne świadectwo przeglądu (dopuszczenie do eksploatacji) przez włoskie towarzystwo klasyfikacyjne RINA z maksymalną głębokością eksploatacyjną 200m dla dzwonu i komory, natomiast systemy podtrzymania życia z parametrów technicznych można było stosować do 160m (ciśnienie robocze 16 bar).

WYZWANIA BADAWCZE I WDROŻENIOWE ZWIĄZANE Z MOBILNOŚCIĄ SYSTEMU NURKOWEGO

Działalność badawcza ekipy ZSNiTPP ukierunkowana była na wdrożenie stacjonarnego systemu nurkowego do nurków saturowanych. Stacjonarność ma jedną niezaprzeczalną zaletę; stałe powiązanie z miejscem jego montażu. Wszystkie jego urządzenia zainstalowane są na stałe. Związanie operacyjnego systemu nurkowego z obiektem na którym jest zainstalowany, którym mogą być platformy wydobywcze, wyspecjalizowane statki lub inne obiekty pływające, narzuca sposób wykorzystania i eksploatacji tych systemów. Należy podkreślić, że przepisy towarzystw klasyfikacyjnych dotyczą generalnie budowy i konstrukcji stacjonarnych systemów nurkowych. W tych przepisach państw wiodących w ostatnim dwudziestolecu pojawiają się definicje systemów „transferable”. Generalnie są tylko definiowane i w domyśle muszą być funkcjonalnie i technicznie odpowiadać systemom stacjonarnym.

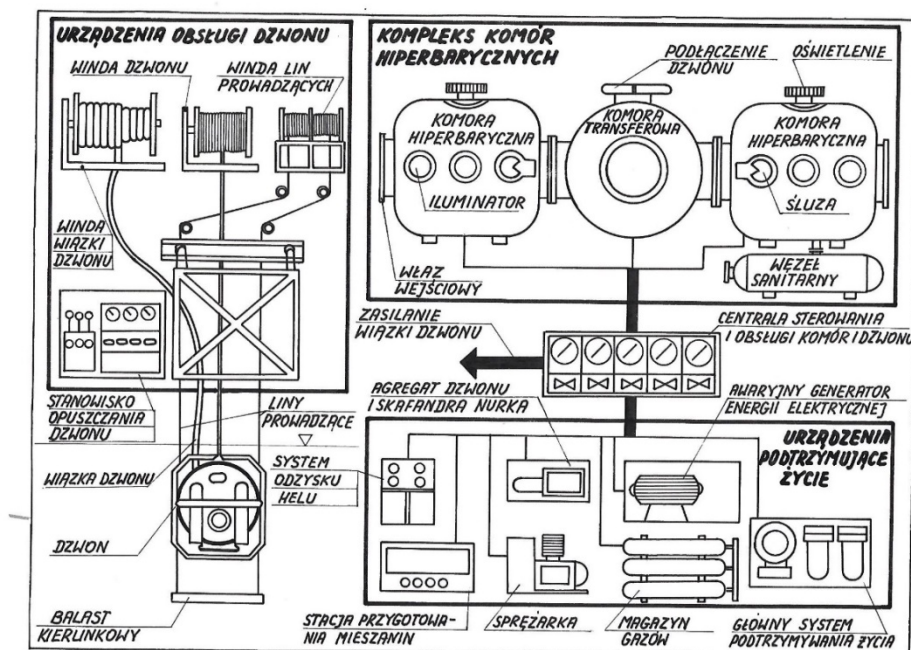
Np. Aktualne przepisy DNV [9,10] definiują mobilny system nurkowy jako „System nurkowy zaprojektowany tak, aby można go było łatwo przenosić w jednej lub kilku jednostkach, i który może być zainstalowany na pokładzie statku, barki

lub platformy morskiej na krótki okres czasu, nieprzekraczający jednego roku”. Wyjaśniają, że mobilny system nurkowy może być złożony z różnych elementów w określonej konfiguracji, odpowiednią dla konkretnego zadania. W przypadku systemów mobilnych istnieje duża różnorodność potencjalnych obiektów ciśnieniowych i możliwości ich montażu. Natomiast Polskie przepisy PRS [11] z 2020 określają system nurkowy jako niezintegrowany trwale z jednostką (mobilny) w pp.8.26.1. System nurkowy zainstalowany na określony okres czasu na pokładzie i czasowo zintegrowany z systemami i urządzeniami statku obsługującego prace podwodne powinien spełniać wymagania PRS, obejmujące przeglądy i próby określone w rozdziale 2, po każdym ponownym zainstalowaniu na pokładzie jednostki pływającej lub innego obiektu. Inne, związane z klasą statku, dodatkowe wymagania dla statku i zintegrowanego czasowo na jego pokładzie systemu nurkowego, takie jak np. warunki lub ograniczenia w zakresie głębokości lub ograniczenia pogodowe wykraczające poza zakres związane ze znakami dodatkowymi, wpisywane są do Świadectwa klasy/Tymczasowego świadectwa klasy.

Nadmieniam, że system nurkowy AF-2 był jedynym systemem z oferowanych, który można było zainstalować na platformie (na platformie Beta, dla jego zainstalowania przecinano grodzie i konstrukcyjnie nośne). W naszym przypadku mobilność systemu nurkowego zmuszała do rozwiązania szeregu problemów, które nie są zdefiniowane w przypadku nurkowań z systemu stacjonarnego, lub w ogóle nie są poruszane w przepisach towarzystwa klasyfikacyjnych. W rozpatrywanym okresie w naszym kraju nie było żadnych przepisów i normatywów dotyczących nurkowania saturowanego, tak od strony technicznej jak i od strony organizacyjnej. Od strony medycznej sytuacja była podobna, z tym, że przepisy Krajów Zachodnich nie przewidywały tak szerokiego zabezpieczenia medycznego, jakie określały aktualne warunki polskie, wzorowane na radzieckich. Dlatego też mobilność zdefiniowano na swoje potrzeby przyjmując krajowe warunki i bardzo ważki punkt widzenia włoskich specjalistów z firmy RANA. Ważnym były uwarunkowania startowe, tj. wymagania właściciela systemu Af-2, wymagania przedsiębiorstwa Petrobaltic, oraz potencjał Marynarki Wojennej, w tym ZSNI TPP.

Mając na względzie 5-cio letnie wypożyczenie systemu Af-2 przygotowywano ekipy w ZSNI TPP do obsługi i eksploatacji tego systemu. Dostarczona dokumentacja techniczno-eksploatacyjna systemu nurkowego AF-2 była, delikatnie mówiąc, „niepełna”. Nie uzyskaliśmy od RANY danych urządzeń objętych nadzorem towarzystwa klasyfikacyjnego, takich jak, rysunki i schematy instalacji, nie mówiąc o opisie technicznym komory, dzwonu nurkowego, centrali manewrowej, układów podtrzymania życia, sprzężarek i filtrów. Uzyskaliśmy jedynie rysunki płaszcza komory i dzwonu oraz dokumentację zbiorników ciśnieniowych. Brakowało też dokumentacji urządzeń opustowo- podnośnych dzwonu, paneli rozdzielczych gazowych i elektrycznych dzwonu oraz komory. Podczas pierwszego montażu na platformie Beta dla celów montażowych i obsługowych ekipa polska wykonała własne schematy pulpitu gazowego dzwonu i komory, instalacji gazowych dzwonu i elektrycznych komory i dzwonu nurkowego, systemu podtrzymania życia nr 1, stacji ładowania powietrza, instalacji centrali manewrowej, instalacji hydraulicznej układu opustowo-podnośnego dzwonu, urządzeń grzewczych dzwonu i skafandra nurka.

Montaż systemu polega na niezawodnym ustawieniu w konfiguracji, która umożliwia opuszczanie dzwonu oraz ustawienia 14 elementów pozwalających na ich obsługę. System Af-2 do Gdańska dostarczano transportem samochodowym, co zmusiło do przystosowania komory hiperbarycznej i jej częściowego demontażu. Podczas transportu nie ustrzeżono się przed uszkodzeniami zaworów i instalacji. Np. urządzenie opustowo-podnośne miało skrzywioną ramę nośną, koło wiązki kablowo-węzowej dzwonu musiało być wymienione na większe (o średnio 600 – 700 mm.), tak by nie gięło tej wiązki tj. Układ hydrauliczny ustawienia dzwonu wymagał regulacji, instalacja hydrauliki nieszczelna. Kilka złączy hydraulicznych także należało wymienić.



Rys. 1 Schemat strukturalny kompleksu (systemu nurkowego) do nurkowań saturowanych bez urządzeń nadmiarowych zapewniających określony poziom bezpieczeństwa .

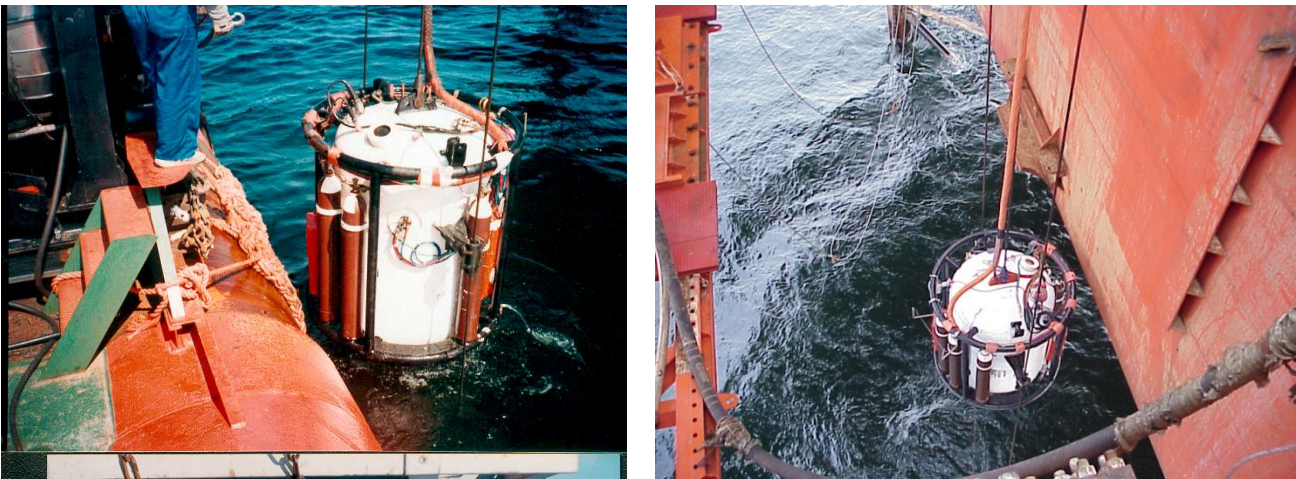
W/w urządzenia należy w czasie montażu połączyć w funkcjonalną całość węzami gazowymi, węzami hydraulicznymi, węzami wodnymi chłodzenia i ogrzewania, wody słodkiej, wody słonej i glikolu grzewczego komory, kablami elektrycznymi zasilającymi sieć siły dla urządzeń wind, grzałek urządzenia podtrzymania życia, elektrycznego podgrzewacza wody grzewczej dzwonu, przewodami sterowania, pomiarów, łączności i oświetlenia. Instalacja systemu Af-2 wymagała podłączenia ponad dwustu węży i przewodów ciśnieniowych różnych średnic i ponad setki kabli i przewodów elektrycznych. Instalacje gazowe należało podłączyć do ponad 400 przyłączy o różnych gwintach i średnicach zależnych od przeznaczenia; ciśnienia wysokiego, średniego i niskiego do zasilania podstawowych urządzeń systemu Af-2. Zastosowanie elastycznych połączeń wymaga, by dopasować konfigurację systemu do miejsca montażu z uwzględnieniem następujących tras węzowych:

- gazowych z mieszaninami, tlenem, oraz powietrzem nurkowym niskiego, średniego i wysokiego ciśnienia,
- wodnych z wodą słodką, sanitarną, zaburtową ogrzewania nurka i do chłodzenia urządzeń,
- hydraulicznych dla zasilania wind i sterowania układem opustowo-podnośnym,
- glikolem ogrzewającym komorę i pogrzewacze układów podtrzymania życia,
- powietrze techniczne zasilające urządzenia podstawowe i awaryjne układu opustowo - podnośnego dzwonu nurkowego i balastu dzwonu.

Podobnie jest z trasami kablowymi, kabli o różnych przekrojach od bardzo dużych dla zbiorczego zasilania odbiorów siłowych i pogrzewacza wody grzewczej dla dzwonu i nurka, do cienkich przewodów łączności, TV, pomiarowych oraz sieci informatycznych. Planując trasy linii kablowych i węzowych zasilających lub łączących elementy systemu nurkowego Af-2 musiano uwzględniać specyfikę obiektu, na którym je zainstalowano, a ponadto wszystko musiało być zgodne z wymaganiami zapewnienia niezawodnej eksploatacji, bezpieczeństwa załogi, ochrony przeciwpożarowej, dróg ewakuacji i ratowania w wypadkach szczególnych, oraz dostępu do środków ratunkowych. Ogólnie rzecz biorąc, należało uwzględnić ciąg przepisów konwencji morskich, górnictwa naftowego, operacji dźwigowych, przepisów przeciwpożarowych (w tym zagrożeń strefie wydobywania ropy i gazu), eksploatacji zbiorników ciśnieniowych, oraz higieny pracy i wypoczynku. Z tymi problemami nie spotykamy się w przypadku systemów stacjonarnych, gdyż są one rozwiązywane na etapie budowy jednostki lub obiektu posiadającego system nurkowy. Np. nad komorą i dzwonem oraz nad liniami przesyłowymi gazowymi i elektrycznymi nie wolno wykonywać operacji dźwigowych, butle z tlenem muszą być w określonym miejscu w stosunku do miejsca przechowania materiałów łatwo palnych, tj. olejów i smarów, podczas zanurzenia dzwonu nie wolno wykonywać innych prac związanych z eksploatacją złoża i powodujących hałas, przy operacjach załadunkowych lub wyładunkowych nie wolno zagrażać dróg ewakuacji, system nurkowy powinien być odseparowany od załogi statku lub platformy, higiena nurków wymaga by podczas saturacji posiadali oni oddzielną pralkę i suszarkę oraz naczynia do podawania posiłku. Problemem od którego zaczynały się wszystkie problemy było zapewnianie konfiguracji funkcjonalnej systemu nurkowego. Punktem wyjściowym była możliwość opuszczenia do wody dzwonu nurkowego w określonym punkcie; jak najbliższe miejsca pracy po zanurzeniu (maksimum 15 m), oraz usytuowanie stanowiska nurka asekuracyjnego jak najbliższe dzwonu. Pierwsze nurkowanie saturowane w 1995 roku na platformie Beta wymagało usunięcia kilku urządzeń pokładowych, by można było funkcjonalnie ustawić system.

W przypadku systemu Af-2 mieliśmy do czynienia ogólnie rzecz biorąc z dwoma obiektami tj. platformami i statkiem serwisowym. Jedyne, co je łączyło to system nurkowy. Af-2 był systemem montowanym pod gołym niebem, co jednocześnie było zaletą i wadą przy pracy całorocznej. Platforma dawała stabilny pokład niezależnie od pogody oraz dostęp do źródeł ciepła w zimie, lepsze warunki socjalne i praktycznie nieograniczony dostęp do usług dźwigowych, co było bardzo ważne dla zabezpieczenia logistycznego nurkowania. Statek nie zapewniał tych warunków, ale miał niepodważalną zaletę, jaką była obsługa blisko wody (około 2m), co w porównaniu z platformą (ponad 20m od lustra wody) dawało większą możliwość reakcji w przypadkach awaryjnych oraz możliwość wykonania pracy w dowolnym punkcie złoża.

Należy podkreślić, że miejsce montażu miało również wkład do rozwoju zawodowego personelu ekipy, nie tylko ZSNiTPP. Tylko 4-5 osób ekipy Akademii Marynarki Wojennej, która organizowała i realizowała nurkowania głębokie z okrętów ratowniczych na których zbudowany był system nurkowy a wyjścia w morze były relatywnie krótkie (do 10 dni), miało doświadczenie w tego typu działaniach. Dla większości ten rodzaj zadania i jego wykonanie było nowością. Kilkumiesięczne pobyty na statku czy platformie były testem odporności ludzi na stres i trudne warunki. Platforma wyeliminowała ludzi z syndromem odosobnienia, lęku wysokości oraz obawy przed lotem śmigłowcem. Natomiast praca na statku serwisowym spowodowała odejście ludzi ze stałą chorobą lokomocyjną i brakiem odporności na trudne warunki socjalne. Dla wielu członków ekipy, tych którzy brali udział w badaniach tabel dekompresyjnych, praca w rzeczywistych warunkach była szokiem, który jednak większość ekipy zniosła bez problemów. Do pracy w warunkach rzeczywistych doszły jeszcze czynniki stresu; realnego zagrożenia nurków pod wodą, naciski realizatora prac podwodnych na szybkie wykonanie zadania (niezależnie od pory doby) oraz wymagalność dyspozycyjności do pracy podwodnej. Obciążenie psychiczne związane z osiągnięciem sukcesu w pracach podwodnych udzielało się wszystkim, zarówno zleceniodawcom jak i zleceniobiorcom, zaczynało się już na etapie przygotowania i montażu systemu nurkowego na wskazanym obiekcie.



Rys. 2 Zanurzenie dzwonu nurkowego systemu Af-2 z rufy statku Bazalt 1997 i z platformy Petrobaltic 2000.

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU NURKOWEGO AF-2 (LATA 1995-1997)

W dokumentacji nie zostały określone warunki pracy tego systemu. W/g specjalistów RANA przygotowywany był on dla warunków Morza Śródziemnego. Jako dopuszczalne przyjęto krajowe warunki prac podwodnych, określone w ówczesnych przepisach cywilnych krajowych prac podwodnych i w przepisach nurkowania Marynarki Wojennej.

Warunki pracy kompleksu AF-2:

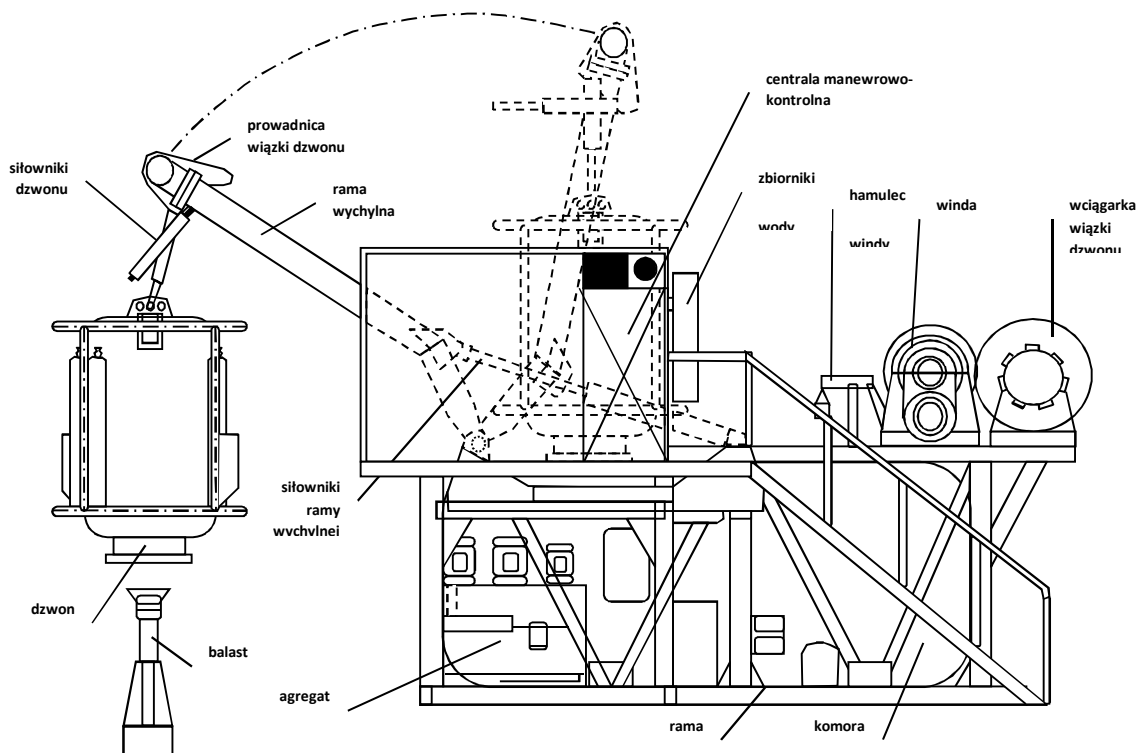
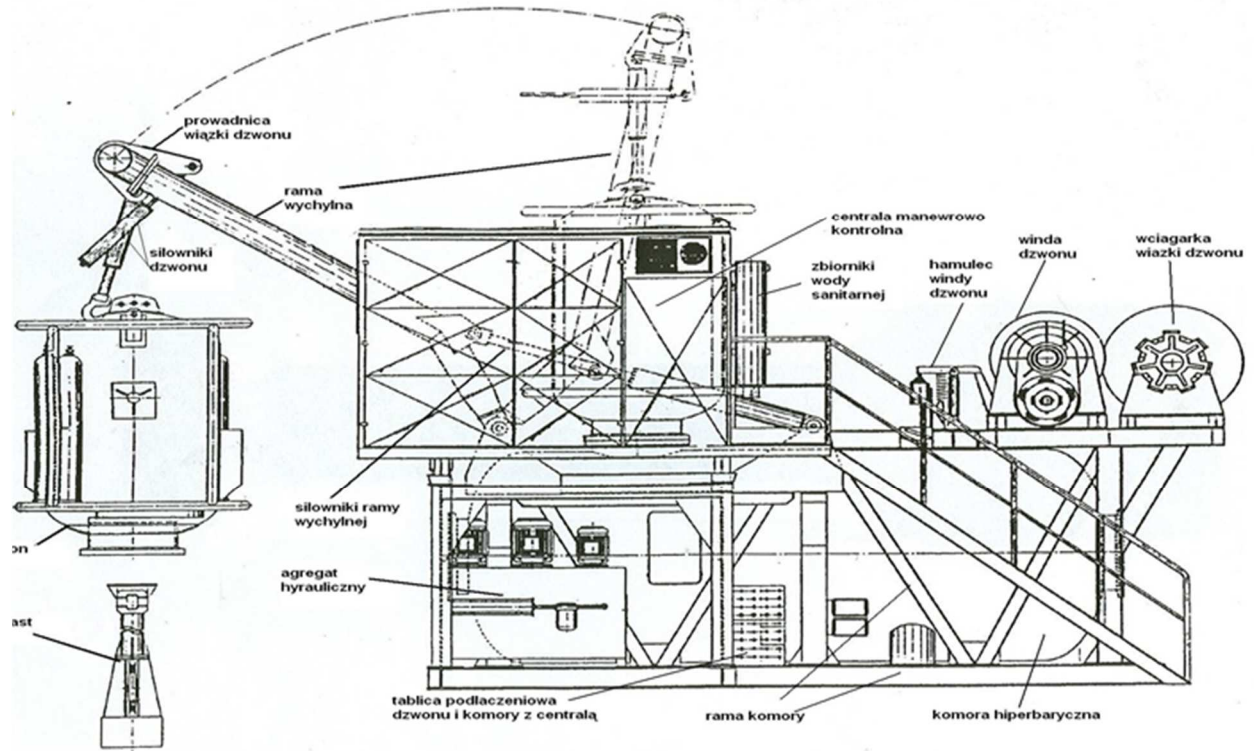
- temperatura otoczenia (wg DNV -10°C) 0°C do 40°C,
- stan morza do 3°,
- siła wiatru do 5° Beauforta.

Na podstawie elementów i urządzeń systemu nurkowego Af-2 dostarczonych w 1995 roku przez właściciela, określono że może być zamontowany na każdym obiekcie pływającym lub stałym, dysponującym wolną powierzchnią około 150 - 180m². Obiekt – „nosiciel” dla zabezpieczenia pracy kompleksu musi zapewnić odpowiednie zasilanie w energię elektryczną, wodę słodką i słoną, oraz posiadać wyposażenie dźwigowe dla zabezpieczenia załadunku kompleksu, dostaw gazów oraz realizacji operacji ewakuacji nurków pod ciśnieniem.

Obiekt powinien posiadać bazę socjalną dla zapewnienia żywienia nurków i ekipy obsługi dla minimum 16 osób, oraz bazę dla zapewnienia odpoczynku i potrzeb bytowych ekipy z możliwością prania i procedur higienicznych dla potrzeb kompleksu (pranie, dezynfekcja, przygotowanie posiłków itp.).

Kompleks nurkowy AF-2 wymagał zasilania systemów zasilania okrętowego energią elektryczną o napięciu 3 x 440V lub 3 x 380V, które powinny zabezpieczyć nieprzerwany dopływ mocy jak niżej :

- zasilanie podstawowe ~ 200kW (moc maksymalna przy operacji opuszczania i podnoszenia dzwonu),
- zasilanie awaryjne ~ 60 kW (podczas pobytu na plateau saturacji),
- zasilanie awaryjne ~ 170kW (przy pobycie nurków pod wodą),
- woda zaburtowa: p= 6 bar min 3m³/h,
- woda słodka:- pobór okresowy min ~ 1m³/dobę,
- powietrze techniczne: p=6 bar, 20m³/h.(pobór okresowy – podczas operacji zanurzenia – wynurzenia dzwonu oraz napędu awaryjnego podnoszenia dzwonu i opcjonalnie z systemu sprężonego powietrza kompleksu).



Rys. 3 Podstawowy zespół systemu nurkowego Af-2. (dzwon, balast, rama wychylna, windy dzwonu i balastu, wciągarka wiązki kablowo-węzowej zamocowana na ramie komory, oraz centrala manewrowa ustawiona na ramie agregatu hydraulicznego).

Zestaw kompleksu Af-2 składał się z 14-tu oddzielnych, niezależnych, konfigurowanych wg potrzeb urządzeń, za wyjątkiem podstawowego zespołu komora-dzwon nurkowy - urządzenie opustowo-podnośne, agregat hydrauliczny i centrala manewrowa (patrz rys. 3) w zależności od potrzeb. W skład dostarczonego zestawu kompleksu wchodziły:

1. Dwuprzediałowa komora hiperbaryczna o ciśnieniu pracy $p=20$ bar (200mH₂O) o średnicy wewnętrznej 1900 mm i długości całkowitej 4700 mm, posiadająca pięć włączów co pozwalało obsługiwać te przedziały niezależnie oraz wykonywać przejście nurków do dzwonu. Przedział mieszkalny o objętości 7,5 m³ przygotowany dla pobytu czterech nurków. Przedział posiadał służę małych gabarytów dla możliwość podania posiłków i elementów eksploatacyjnych. Objętość przedziału transferowego wynosiła 3,8 m³. Był on przygotowany dla pełnienia poniższych funkcji:

- transferu pod ciśnieniem do dzwonu (TUP-transfer under pressure) szyb z włączem sterowanym siłownikiem ciśnieniem mieszaniny roboczej,
- wykonywania zabiegów sanitarnych i toaletowych związanych z higieną indywidualną
- ubierania się nurków w skafandry i wyposażenie przed wejściem do dzwonu nurkowego,
- przechowywania skafandrów ogrzewanych wodą ,
- przedziału ewakuacji dla dwóch nurków.

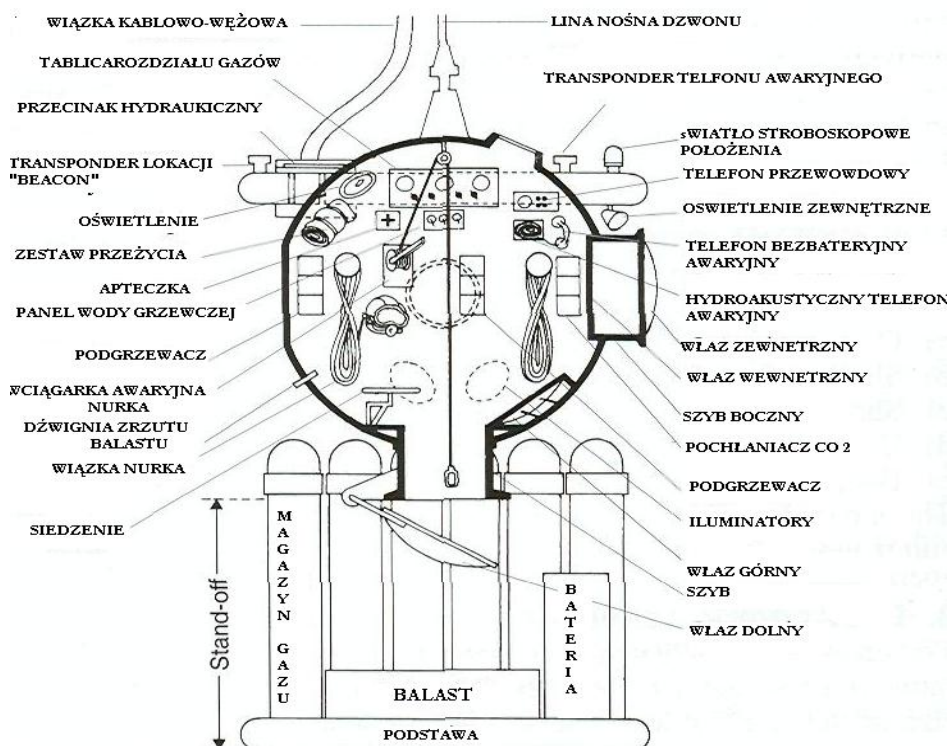
W komorze była instalacja gaszenia pożaru z zewnątrz, lecz nie było do niej wyposażenia. Ochrona ppoż. była oparta o indywidualne gaśnice i wodę z instalacji sanitarnej.

Dla przykładu komora mieszkalna systemu nurkowego GWK-200 posiadała objętość 18 m³.

2. Dzwon nurkowy typu zamkniętego (closed bell) - Przeznaczony dla 2 osób, pracujący w układzie nurek roboczy - operator dzwonu (objętość $V=3,4$ m³ ciężar $G=5,1$ kN, ciśnienie robocze $p_r=20$ bar) Był on wyposażony w urządzenia, których wymagały przepisy klasyfikacyjne dla nurkowań saturowanych, za wyjątkiem zabezpieczenia wymaganej autonomiczności 24 godz., tj. pracy podstawowych urządzeń po odcięciu zasilania z powierzchni. Kompensowano to procedurami ratowniczymi.

Wg ówczesnych przepisów klasyfikacyjnych DNV dzwon nurkowy miał posiadać odrębny autonomiczny zapas mieszanin o minimalnej pojemności wystarczającej, aby zapewnić: 1 Nm³ tlenu na każdego nurka, oraz odpowiednie mieszaniny oddechowe. Zapas mieszanin w dzwonie powinien zapewnić objętość wystarczającą do wyparcia wody z dzwonu napełnianego w 40% wodą przy max głębokości roboczej, lub wystarczającą do dostarczenia każdemu z nurków wewnątrz dzwonu odpowiedniego gazu do oddychania przez 15 minut. Przyzwyczajeni do nieomylności przepisów DNV ambitni członkowie ekipy od razu wskazywali na te braki. Interpretacja specjalistów RANA mówiła o własnych przepisach. Przyjmując plateau saturacji 65m, zapas 30 m³ mieszaniny w dzwonie miał spełniać wszystkie warunki. Przy 15% zawartości tlenu w helioksie ilość tlenu przekracza 2 m³.

WYPOSAŻENIE DZWONU NURKOWEGO - NURKOWANIE SATUROWANE



Rys. 4 Przykładowe wyposażenie dzwonu nurkowego wg zaleceń IMCA i aktualnych wybranych przepisów klasyfikacyjnych.



Rys. 5 Wyposażenie dzwonu nurkowego Af-2 widziane z wlotu wejściowego.(zdjęcie z 2016 r.). Węże widoczne i spód hełmu to sprzęt nurka roboczego.

3. Urządzenie opustowo podnośne - zamontowana na ramie nośnej komory winda dzwonu z liną długości 240m, winda balastu z liną długości 380m i wciągarki wiązki kablowo-wężowej dzwonu; długość wiązki 140m (umbilical – z ang. pępowina wg PRS). Układ kinematyczny urządzenia składa się z siłowników wychylenia ramy, haków podnoszenia dzwonu i siłowników poziomych do sterownia hakami. Windy nie posiadają układania lin i w związku z tym podczas operacji podnoszenia i wynurzenia dzwonu i balastu, oraz operacji ustawienia na szybie komory wymagana jest obsługa 4 osób. Szczególnie trudne są operacje, gdy system zamontowany jest na statku przy niesprzyjającej pogodzie. Operowanie tym urządzeniem wymaga zgrania obsady i wzmożonej uwagi operatora w centrali manewrowej, gdzie znajduje się pulpit sterowania. Układ zapewnia maksymalną prędkość opuszczania dzwonu (średnio 18m/min a balastu 9m/min).

4. Balast stabilizacyjny dzwonu - ciężar $G=1,2$ kN, opuszczany z prędkością dwa razy mniejszą niż prędkość opuszczania dzwonu, opuszczany jest na linie podwójnej, gdyż tego wymaga stabilizacja dzwonu przeciwdziałająca jego obrotowi. Taki układ pozwala też na awaryjne wyciągnięcie dzwonu nurkowego do powierzchni.

5. Centrala manewrowa - związana połączeniami ze wszystkimi współpracującymi urządzeniami systemu za pomocą elastycznych węży gazowych i hydraulicznych, oraz kablami i przewodami elektrycznymi. Budowa centrali manewrowej ma największy stopień upakowania urządzeń. Na powierzchni o wymiarach 2,4m x 3,4m znajduje się stanowisko kierowania prac podwodnych i sterowania podstawowymi parametrami nurkowania. Łączy ona elementy kierowania nurkami podczas wykonywania zadań podwodnych nurków i personelu obsługi, przy jednoczesnej kontroli parametrów stanu atmosfery dzwonu i komory oraz zasilania w gazy oddechowe, wodę grzewczą nurka i dzwonu, wodę dla potrzeb sanitarnych, oraz sterowanie układem opustowo - podnośnym dzwonu. W centrali znajdują się pulpity sterownicze; komory, dzwonu nurkowego, główna rozdzielnia elektryczna, panel łączności oraz pulpit sterowania urządzeniem opustowo - podnośnym nurka/dzwonu. Ponadto, w centrali manewrowej znajdują się zbiorniki wody sanitarnej ciepłej i zimnej wraz z sterowaniem. Warunki pracy w centrali wymagały minimum trzech osób, nie zapewniając przy tym żadnego komfortu. Kierowanie nurkami pod wodą nie było oddzielone od obsługi komory hiperbarycznej, co normalnie ma miejsce w systemach stacjonarnych. Współczesna ergonomia i przepisy budowy nie pozwalają na niezgodności dotyczące utrudnienia pracy ekipie nurkowej, ale takie rozwiązanie centrali stanowiło i stanowi skuteczne rozwiązanie praktyczne. Wymaga tylko przygotowania oraz wysokich kwalifikacji personelu obsługi nurków.

6. Agregat hydrauliczny, składający się z trzech pomp podanej mocy roboczej $P=25$ kW, awaryjnej 25kW i serwisowej $P=8$ kW. Rama agregatu służy jako podstawa centrali manewrowej.

7. System podtrzymania życia - podstawowy, LSS-1 (LSS ang. life support system) w kontenerze 20'. Regulacja cyrkulacji wentylacji komory była ręczna i odbywała się poprzez dławienie przepływu mieszanin zaworem. Kontener LSS używany był również jako magazyn materiałów eksploatacyjnych i przetłaczarki.

8. System podtrzymania życia - zapasowy, LSS-2 w kontenerze 10'. System ten nie był przygotowany do pracy (niesprawny agregat chłodniczy). Również służył jako magazyn sorbentów oraz jako uzupełnienie wymiennych koszy filtrów z sorbentami LSS.

9. Zespół sprężarkowy p=200 bar. w kontenerze 10' składający się z dwóch sprężarek Bauer K-1515 oraz dwóch zespołów filtrów powietrza nurka.

10. Magazyn gazów (12 wiązek nurkowych 10 mieszaninowych i dwóch powietrza sterującego. Pojemność magazynowa operacyjna 1350m³ mieszaniny i 180m³ powietrza.

11. Podstawowy elektryczny podgrzewacz wody skafandra nurka i dzwonu - produkcji MARA Engineering Mini Electric Heater MHE-01, moc grzewcza P= 95kW.

12. Zapasowy podgrzewacz spalinowy - firmy DUI Simple 520 P= 102kW, opalany ropą. Praktycznie nie używany (niesprawny palnik).

13. Przetłaczarka firmy Haskel – podwójna, napędzana sprężonym powietrzem.

14. Dwa zestawy sprzętu nurkowego z hełmami Superlite 17B oraz maska nurka asekuracyjnego w dzwonie Helioks 18B, przygotowane do zasilania z dzwonu.

15. Warsztat – magazyn - zainstalowany w kontenerze 20'.

Zadania Zakładu Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych polegały na uzupełnieniu wyposażenia systemu Af-2. Do ich podstawowych zadań należało:

- wystawienie zapasowej ekipy nurkowej; 2 nurków i kierownik prac podwodnych,
- uzupełnianie zapasów gazów oddechowych, sorbentów oraz elementów wymiennych sprzętu nurkowego, pomiarowego oraz wymiana wiązek butlowych z mieszaninami oddechowymi podczas nurkowania,
- dostawy w helu w zestawach butlowych i butlach transportowych oraz tlenu w butlach transportowych,
- przygotowanie mieszanin helioksoowych roboczych,
- zabezpieczenie i wykonanie napraw oraz dostarczenie elementów instalacji gazowej i elektrycznej,
- wystawienie ekipy nurków asekuracyjnych,
- zabezpieczenie pracy techników systemów nurkowych podczas montażu i demontażu systemu nurkowego, oraz podczas nurkowania, a także w okresie przed i po nurkowaniu,
- uzupełnienie sprzętowe na żądanie ekipy włoskiej,
- zabezpieczenie medyczne wg projektu przepisów krajowych,
- dostarczenie skafandrów ogrzewanych wodą (pozyskanych ze Stoczni Szczecińskiej),
- zabezpieczenie brzegowe nurkowań saturoowanych, w tym operacji ewakuacji nurków pod ciśnieniem i realizacji ewentualnych procedur rekompresji leczniczej.

Podstawowymi celami badawczymi dla ZSN i TPP była problematyka techniczno-organizacyjna, czyli:

- analiza oceny bezpieczeństwa nurków i działanie w stanach awaryjnych dla nurkowych systemów mobilnych,
- ocena metod pomiarowych oraz technicznego zabezpieczenia w świetle standardów światowych i tzw. „dobrej praktyki nurkowej”,
- opracowanie metod „szybkiego” montażu pod kątem obiektu, na którym system miał być montowany, oraz wymagań technicznych i organizacyjnych Petrobaltic, uwzględniając czas montażu i minimalizując zaangażowanie komórek organizacyjnych tego przedsiębiorstwa,
- modernizacja programów szkolenia nurków i personelu obsługi uwzględniających wykorzystanie dzwonu nurkowego w aspektach roboczych i awaryjnych, porównanie procedur zabezpieczenia medycznego w naszym kraju i firmy RANA dla spełnienia międzynarodowych standardów,
- opracowanie procedur krajowych dla eksploatacji operacyjnego systemu nurkowego w oparciu o potencjał krajowy,
- opracowanie metod ewakuacji nurków pod ciśnieniem z offshore na brzeg z uwzględnieniem uwarunkowań krajowych.

Powyższe problemy winny mieć odzwierciedlenie w dokumentach i procedurach nurkowania, które są wymagane w planie nurkowania, w zabezpieczeniu medycznym, technicznym oraz organizacji nurkowania i prac podwodnych. Dokumenty te są ważne z punktu widzenia pozwoleń administracyjnych, nadzorczych klasyfikatora systemu nurkowego i działania platformy lub statku, na którym system jest zainstalowany, administracji morskiej, ubezpieczenia prac podwodnych w towarzystwie asekuracyjnym, a także nakładów finansowych wykonywanego zadania podwodnego. W 1995 roku wszyscy zainteresowani w wykonaniu prac podwodnych dopiero uczyli się i poznawali te problemy. Doświadczenie wynikłe z badań nad dekompresją nurków i budową systemów nurkowych było nieocenione. Dla całości problemu interoperacyjności komercyjnych nurkowań saturoowanych doświadczenie to tylko podstawa, której wykorzystanie zależne jest od środowiska pracy na offshore. Nasze doświadczenia dotyczyły tylko dwóch środowisk - statku i platformy, w uwarunkowaniach jednej firmy usług podwodnych z Włoch i przedsiębiorstwa Petrobaltic. Problemy badawcze i organizacyjne „rodziły się w biegu”, w miarę postępu prac. Wykonywaliśmy komercyjne nurkowania operacyjne po raz pierwszy, i to dotyczyło wszystkich biorących w nich udział. Literatura i przepisy ten temat poruszają w ograniczonym stopniu i generalnie nie dotyczą rozwiązań organizacyjnych i technicznych, lecz dają jedynie wskazówki.

dr inż. Stanisław Skrzyński
Katedra Technologii Prac Podwodnych
Akademii Marynarki Wojennej
s.skrzynski@amw.gdynia.pl

LITERATURA

1. Skrzyński S., Pachut M., Olszański R.: „Helioksove nurkowania satutowane w Morzu Bałtyckim”, V Konferencja Naukowo-szkoleniowa „Problemy medycyny oraz Nurkowanie – problemy techniczne” 1998;
2. Skrzyński S. „Wybrane problemy techniczno-organizacyjne wdrożenia nurkowań satutowanych”. Praca pk „SATURN” AMW 1998;
3. Doboszyński T., Łokuciejewski B: „Tabele dekompresyjne dla trimiksowych nurkowań satutowanych do 120 m. wraz z zasadami rekompresji leczniczej”, CPBR-9.5. „Techniczne, medyczne i prawne problemy długotrwałego przebywania człowieka pod wodą”, Katedra Medycyny Morskiej WAM, Gdynia 1990;
4. Doboszyński T., J.Kot, Z Sicko „System Nurkowań Satutowanych z użyciem Trimiksu w Strefie Głębokości 80 metrów dla Platformy Wiertniczej Petrobaltic” DSK – 95 Akademia Marynarki Wojennej 1995;
5. Skrzyński S., J.Pawlak ,S Wiśniewski Technologia Nurkowania Satutowanego w Kompleksie Nurkowym Af-2 LOTOS Petrobaltic S.A. Gdańsk 2011;
6. Normative Operative Requisites di Sicurarzza RANA 1987. Rana” "Working and Safety Regulation;
7. Skrzyński S., Dokumentacja pracy pk. NURSAT Nurkowania satutowane dla potrzeb Petrobaltic i LOTOS Petrobaltic z lat 1995-2000;
8. Skrzyński S. i zespół „Technologia nurkowań głębokowodnych z użyciem aparatów o obiegu otwartym” Punkt 6 harmonogramu pracy pk. POSEJDON Projekt celowy nr 11/BO umowa nr 148 308/C-T00/2001:„Nurkowania głębokie dla potrzeb Ratownictwa Morskiego” Akademia Marynarki Wojennej Gdynia 2002;
9. Diving systems” Offshore Standards DNVGL-OS-E402 EditionJanuary 2017;
10. DET NORSKE VERITAS DNV-DSS-105 Rules for Classification of Diving Systems July 2012;
11. Polski Rejestr Statków „Przepisy Klasyfikacji i Budowy Urządzeń i Systemów Techniki Podwodnej Instalowanych Na Statkach oraz Innych Obiektach” Tymczasowe Gdańsk2020.